

Granulats

**Méthodes d'essai de réactivité aux alcalis**

---

**Norme Marocaine homologuée**

Par arrêté du Ministre de l'Industrie, du Commerce et de la Mise à Niveau  
de l'Economie N° , publié au B.O. N°

---

**Correspondance**

La présente norme est en large concordance avec la XP P 18-594/2004.

---

**Modifications**

---

Elaborée par le comité technique de normalisation des produits de carrière  
Editée et diffusée par le Service de Normalisation Industrielle Marocaine (SNIMA)

Sommaire

	Page
1 <b>Domaine d'application</b> .....	4
2 <b>Références normatives</b> .....	4
3 <b>Généralités</b> .....	5
4 <b>Définitions</b> .....	5
5 <b>Essais cribles</b> .....	6
6 <b>Essai à long terme</b> .....	22
<b>Bibliographie</b> .....	31

## 1 Domaine d'application

La présente norme décrit les méthodes d'essai permettant de qualifier la réactivité d'un granulat et d'en affirmer de façon certaine le caractère non réactif. Parmi celles ci, il existe des méthodes rapides capables de donner un résultat en une semaine, cet avantage étant compensé par une sévérité excessive. Ces méthodes, associées à la pétrographie, autorisent un classement en : Non Réactif (NR), Potentiellement Réactif (PR), Potentiellement Réactif à effet de Pessimum (PRP) selon des critères spécifiés dans le fascicule de documentation FD P 18-542. Les définitions de ces termes sont données à l'article 4 de ce document.

Ces méthodes qualifient avec certitude la Non Réactivité d'un granulat mais du fait de leur agressivité, elles ne peuvent qualifier avec certitude la réactivité d'un matériau.

Les procédures opératoires qui répondent à ce critère de rapidité constituent un crible satisfaisant et sont pour cela appelées essais cribles.

Ces essais sont présentés à l'article 5 du présent document. Cet article décrit une méthode de référence (article 5.1) et deux variantes (article 5.2 et article 5.3 <sup>1)</sup>).

Ces procédures sont considérées comme donnant des résultats équivalents mais en cas de litige, seule la méthode de référence fera foi.

Un essai à long terme est également décrit à l'article 6. Cette méthode qualifie avec certitude la réactivité des granulats vis-à-vis des alcalins.

## 2 Références normatives

NF EN 197-1, *Ciment — Partie 1 : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants* (indice de classement : P 15-101-1).

NF EN 196-1, *Méthodes d'essais des ciments — Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques* (indice de classement : P 15-471).

NF EN 196-2, *Méthodes d'essais des ciments — Partie 2 : Analyse chimique des ciments* (indice de classement : P 15-472).

NF EN 196-3, *Méthodes d'essais des ciments — Partie 3 : Détermination du temps de prise et de la stabilité* (indice de classement : P 15-473).

NF EN 196-21, *Méthodes d'essais des ciments — Partie 21 : Détermination de la teneur en chlorures, en dioxyde de carbone et en alcalis dans les ciments* (indice de classement : P 15-478).

NF EN 12620, *Granulats pour béton* (indice de classement : P 18-601).

NF EN 932-1, *Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats — Partie 1 : Méthodes d'échantillonnage* (indice de classement : P 18-621-1).

---

1) La méthode décrite en 5.3 est basée sur la mesure de la solubilité de la silice en milieu alcalin. Elle peut, sous certaines conditions, apporter des informations intéressantes sur la réactivité du matériau. Elle pourra être mise en œuvre lors de travaux de recherche sur les causes de la réactivité.

NF EN 932-2, *Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats — Partie 2 : Méthodes de réduction d'un échantillon de laboratoire* (indice de classement : P 18-621-2).

NF EN 12350-2, *Essai pour béton frais — Partie 2 : Essai d'affaissement* (indice de classement : P 18-439).

NF EN 12350-7, *Essais pour béton frais — Partie 7 : Teneur en air — Méthode de la compressibilité* (indice de classement : P 18-443).

NF EN 12390-1, *Essai pour béton durci — Partie 1 : Forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules* (indice de classement : P 18-430).

NF P 15-433, *Méthodes d'essais des ciments — Détermination du retrait et du gonflement*.

NF P 18-353, *Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis — Mesure du pourcentage d'air occlus dans un béton frais à l'aéromètre à béton*.

NF P 18-451, *Bétons — Essai d'affaissement*.

XP P 18-540, *Granulats — Définitions, conformité, spécifications*.

FD P 18-542, *Granulats naturels courants pour bétons hydrauliques — Critères de qualification des granulats vis-à-vis de l'alcali-réaction*.

### 3 Généralités

On désigne par alcali-réaction un ensemble de réactions chimiques où interviennent :

- d'une part certaines formes de silice ou de silicates, pouvant être présentes dans les granulats,
- d'autre part, les alcalins présents dans la solution interstitielle du béton.

Sous certaines conditions et notamment en présence d'eau et en l'absence de précautions particulières, ces réactions peuvent conduire à des désordres.

Le risque de désordres dépend du comportement de l'ensemble du squelette granulaire. Aussi, pour prévenir ce risque, il est nécessaire que les essais qualifient soit séparément la fraction sable et la fraction gravillon, soit globalement la totalité du mélange granulaire entrant dans la composition du béton.

La quantification des fines ne fait l'objet d'aucun test spécifique lorsqu'elles constituent un élément utilisé séparément des sables.

La qualification de ces dernières peut être réalisée à l'aide de l'essai décrit en 5.3 sous réserve que les restrictions relatives à la présence d'alumine et de carbonate soient levées.

### 4 Définitions

La prévention des désordres dus à l'alcali réaction nécessite que les granulats soient classés soit :

#### 4.1 Qu'est ce qu'un granulat NR ?

Comme «non réactifs». Un granulat est qualifié de non réactif (NR) lorsque l'essai de qualification des gonflements éventuels qu'il génère restent inférieurs au seuil fixé pour l'essai réalisé.

#### 4.2 Qu'est ce qu'un granulat PR ?

Comme «potentiellement réactifs». Un granulat est qualifié de potentiellement réactif PR lorsque les gonflements qu'il génère dépassent le seuil de réactivité fixé pour l'essai de qualification mis en œuvre.

### 4.3 Qu'est ce qu'un granulat PRP ?

Enfin comme «potentiellement réactifs à effet de pessimum» (PRP). Cette dernière qualification est subordonnée à la présence de certaines espèces minérales siliceuses facilement solubles en milieu alcalin. Dans ce cas, le risque d'expansion n'existe que lorsque ces espèces sont en proportions voisines d'une certaine plage de ces matériaux.

Pour obtenir la qualification d'un granulat, on procédera soit à un essai rapide dit aussi essai crible, soit à un essai long dit essai à long terme.

### 4.4 Essai crible

On appelle essai crible un essai qui qualifie avec certitude la non réactivité d'un granulat, mais l'accélération imposée par la procédure opératoire se traduit par une forte agressivité vis-à-vis du matériau. De ce fait, la réactivité réelle, telle qu'elle pourra se développer dans le béton peut être surestimée. Selon les résultats de l'essai crible, la qualification peut être :

- NR si le résultat est NR ;
- PRP si le résultat est PRP précisé par l'essai à long terme.

### 4.5 Essai à long terme

On appelle essai à long terme, un essai dont la durée sera de plusieurs mois. La procédure opératoire telle qu'elle est présentée à l'article 6 permet de qualifier avec certitude la réactivité d'un granulat. Dans tous les cas, la qualification obtenue avec cette procédure opératoire doit être préférée à celle issue de l'essai crible.

## 5 Essais cribles

Les potentialités d'expansion des granulats au contact des alcalins sont déterminées par la mesure de variations dimensionnelles dans un essai de gonflement d'éprouvettes de mortier après autoclavage pendant 5 h à la température de 127 °C et à la pression relative de 0,15 MPa en milieu suralcalinisé.

### 5.1 Essai sur mortier par autoclavage: méthode de référence

#### 5.1.1 Principe

Le critère de non réactivité est fixé à une expansion inférieure à 0,15 % sur la moyenne de trois éprouvettes. Cet essai permet de qualifier un matériau dans l'une des trois classes NR, PR, PRP.

#### 5.1.2 Appareillage

##### 5.1.2.1 Appareillage d'usage courant

Concasseur à mâchoires de laboratoire permettant d'obtenir un sable < 5 mm.

Tamis normalisés de 0,16 mm — 0,315 mm — 0,63 mm — 1,25 mm — 2,5 mm — 5 mm avec fond et couvercle.

Malaxeur (NF EN 196-1).

Balance dont la portée limite est compatible avec les masses à peser et permettant de faire toutes les pesées avec une précision relative de 0,1 %.

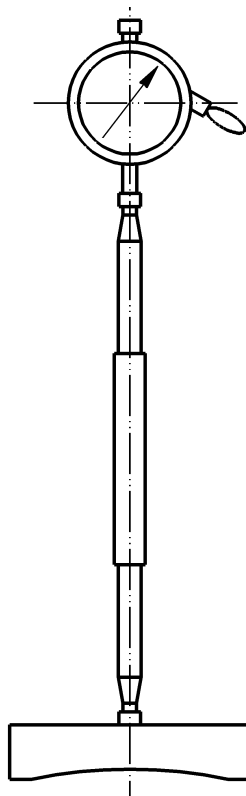
Chronomètre au  $1/10^6$  s.

Étuve ventilée réglée à  $(80 \pm 5)$  °C.

Moules pour trois éprouvettes prismatiques 40 mm × 40 mm × 160 mm avec plots en acier inoxydable, hausse de moule pour le remplissage, deux spatules (petite et grande) et une règle métallique pour l'étalement et le lissage du mortier (NF EN 196-1, paragraphe 4.5).

### 5.1.2.2 Appareillage spécifique

Dispositif avec comparateur pour la mesure de la longueur des éprouvettes avec une précision de 0,001 mm et barreau étalon en Invar de  $(160 \pm 0,8)$  mm (Figure 1).



**Figure 1 — Schéma de l'appareil de mesure de gonflement**

Plaque de protection avec joint d'étanchéité.

Appareils à chocs (NF EN 196-1).

Armoire d'humidité relative.

Autoclave de capacité 20 l (hauteur minimale de la cuve 25 cm) de puissance de chauffage modulable, réglée à la pression relative de  $(0,15 \pm 0,01)$  MPa et à la température de  $(127 \pm 2)$  °C.

### 5.1.3 Réactifs et matériaux

Solution de soude de concentration connue (2,5 N).

Eau déminéralisée Ciment Portland CEM I 42,5 N ou R ou 52,5 N ou R, conforme à la norme NF EN 197-1, avec une teneur en équivalent  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $\text{Na}_2\text{O} + 0,558 \% \text{K}_2\text{O}$ ) comprise entre 0,6 % et 1,0 %. Les alcalins sont dosés selon les modes opératoires de la norme NF EN 196-21. Le ciment doit avoir une teneur en  $\text{MgO}$ , mesurée selon la norme NF EN 196-2, inférieure à 2 %. Il doit présenter une expansion inférieure à 1,0 mm, mesurée selon la norme NF EN 196-3.

Sable :

Pour la réalisation de l'essai, il convient de préparer un sable de granularité 0,160 mm – 5 mm par échantillonnage ou s'il a lieu par concassage, suivant la norme NF EN 932-2. Après lavage et séchage à  $(80 \pm 5)$  °C, le sable est recomposé conformément au tableau ci après :

Trois mélanges sont préparés de manière à obtenir des mortiers à différents rapports «Ciment/granulat» (C/G) :

- mélange 1 : C/G = 0,5 ;
- mélange 2 : C/G = 1,25 ;
- mélange 3 : C/G = 2,5.

Les pourcentages en masse de chaque classe granulaire sont conservés, ce qui se traduit par le tableau suivant :

Classe granulaire	%	C/G = 0,5 Masse en g	C/G = 1,25 Masse en g	C/G = 2,5 Masse en g
0,160/0,315	10	120	72	44
0,315/0,63	10	120	72	44
0,63/1,25	25	300	180	110
1,25/2,5	25	300	180	110
2,5/5	30	360	216	132
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>1 200</b>	<b>720</b>	<b>440</b>

Gravillons :

Pour la réalisation de l'essai, il convient de les broyer préalablement jusqu'à l'obtention d'un sable 0/5 mm.

Mélanges granulaires : dans le cas des mélanges granulaires à plusieurs coupures, il est impératif de tenir compte du rapport Gravillon/Sable de la formule étudiée.

La formule générale retenue pour la détermination des masses individuelles de chaque granulat dans une classe est :

$$MGi = \% Gi \times MTCi$$

où :

$MGi$  est la masse granulat  $i$  ;

$\% Gi$  est le pourcentage en masse de granulat  $Gi$  dans la formule étudiée ;

$MTCi$  est la masse totale sable dans la classe granulaire  $i$ .

La masse minimale de sable requise pour l'essai est de 1,5 kg.

#### 5.1.4 Exécution de l'essai

Un seul ou trois mélanges seront préparés de manière à obtenir des mortiers de rapport C/G, respectivement égaux à 0,5, 1,25 et 2,5.

Remarque :

Lorsque l'analyse pétrographique exclut la possibilité de qualification PRP, il est possible de ne réaliser l'essai qu'au seul rapport C/G = 0,5.

Qualification	NR, PR ou PRP		
Rapport C/G	0,5	1,25	2,5
Sable (g)	1 200 ± 4	720 ± 3	440 ± 2
Ciment (g)	600 ± 2	900 ± 3	1 100 ± 4
Volume d'eau de gâchage sodée (ml)	300 ± 1	450 ± 1	550 ± 1
Qualification	NR, PR		

Le malaxage du mortier est effectué selon la norme NF EN 196-1 :

- verser l'eau contenant l'ajout NaOH, dans le récipient et introduire le ciment ;
- mettre alors immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse et après 30 s introduire régulièrement tout le sable (pendant les 30 s suivantes). Lorsqu'il est fait usage de fractions de sable séparées, ajouter successivement les quantités spécifiées de chaque fraction en commençant par la plus grosse. Mettre le malaxeur à sa vitesse la plus grande et continuer à mélanger pendant 30 s supplémentaires ;
- arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. Pendant les 15 premières secondes, enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci ;
- reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s.

La durée des diverses périodes de malaxage doit être observée avec une précision de  $\pm 1$  s.

L'alcalinité requise est obtenue par ajout de NaOH dans l'eau de gâchage de façon à avoir 4,0 % d'équivalent  $\text{Na}_2\text{O}$  par rapport à la masse de ciment.

### Préparation des éprouvettes d'essai

Utiliser les moules pour trois éprouvettes prismatiques de 40 mm  $\times$  40 mm  $\times$  160 mm munis à chaque extrémité des plots en acier inoxydable, destinés à la mesure des variations dimensionnelles. La longueur de base  $L_0$  entre les plots est de  $(160 \pm 0,5)$  mm.

Le moulage des éprouvettes est effectué immédiatement après la préparation du mortier, selon la norme NF EN 196-1 :

- a) le moule et sa hausse fermement fixés sur la table à chocs, introduire en une ou plusieurs fois avec une cuillère la première de deux couches de mortier (chacune représentant à peu près 300 g) dans chaque compartiment du moule, directement à partir du récipient de malaxage ;
- b) étaler la couche uniformément en utilisant la plus grande spatule qui doit être tenue verticalement, ses épaulements en contact avec la partie supérieure de la hausse et la tirer une fois dans chaque direction le long de chaque compartiment du moule ;
- c) tasser la première couche de mortier en exécutant 60 chocs ;
- d) introduire la seconde couche de mortier, niveler avec la petite spatule et tasser à nouveau en exécutant 60 chocs ;
- e) retirer avec précaution le moule de la table à chocs et ôter la hausse ;
- f) enlever immédiatement l'excès de mortier avec la règle métallique posée de chant, animée de lents mouvements transversaux de va-et-vient, une fois dans chaque direction ;
- g) lisser la surface des éprouvettes en utilisant la même règle tenue presque à plat.

### Conservation des éprouvettes

Recouvrir le moule par la plaque de protection.

Placer rapidement le moule convenablement identifié sur un support horizontal, dans l'armoire d'humidité relative 90 % et de température de  $(20 \pm 1)$  °C et maintenir dans ces conditions jusqu'au démoulage.

Démouler les éprouvettes  $(24 \pm 2)$  h après le gâchage.

Immerger les éprouvettes convenablement identifiées et espacées d'au moins 5 mm, dans de l'eau chimiquement potable à  $(20 \pm 1)$  °C, jusqu'à l'essai d'autoclavage.

### Mesures et procédure d'autoclavage

Retirer les éprouvettes de l'eau à  $48 \text{ h} \pm 30 \text{ min}$  après le gâchage et mesurer aussitôt la longueur initiale  $L_{0i}$  ( $i = 1, 2, 3$ ) avec une précision de  $\pm 0,001$  mm, dans une pièce régulée à  $(20 \pm 1)$  °C.

Placer les éprouvettes dans l'autoclave, en position verticale, espacées d'au moins 10 mm. Remplir l'autoclave d'eau chimiquement potable à  $(20 \pm 1)$  °C, de façon que les éprouvettes puissent être recouvertes de  $(30 \pm 5)$  mm d'eau. Fermer le couvercle.



Régler la puissance de chauffage de l'autoclave, de façon que le seuil de 0,15 MPa de pression relative et de 127 °C soit atteint 1 h ± 10 min après la mise en marche. Maintenir la pression relative de (0,15 ± 0,01) MPa et la température de (127 ± 2) °C pendant 5 h ± 10 min.

À la fin de l'autoclavage, arrêter le chauffage et régler l'ouverture de la soupape de détente de façon à faire revenir la pression atmosphérique (0 MPa de pression relative) en 15 min environ.

Laisser refroidir les éprouvettes dans l'autoclave ou dans un récipient approprié, en les gardant constamment en immersion dans l'eau qui a servi pour l'autoclavage dans une pièce régulée à (20 ± 1) °C.

Mesurer les longueurs finales des éprouvettes  $L_i$  ; ( $i=1, 2, 3$ ) (18 ± 1) h après la fin de l'autoclavage, dès leur sortie de l'eau, dans une pièce régulée à (20 ± 1) °C, en s'assurant du refroidissement complet du mortier à (20 ± 2) °C.

### 5.1.5 Expression des résultats

Calculer la déformation relative  $\varepsilon_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) sur chaque éprouvette en prenant comme longueur de base  $L_0 = 160$  mm.

Le résultat, exprimé en pourcentage, est la moyenne arithmétique des  $\varepsilon_i$ .

La déformation relative de chaque éprouvette ne doit pas s'écarter de ± 15 % de la moyenne.

$$\varepsilon_1 = \frac{L_{11} - L_{01}}{L_0}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{L_{12} - L_{02}}{L_0}$$

$$\varepsilon_3 = \frac{L_{13} - L_{03}}{L_0}$$

## 5.2 Essai sur micro mortier : variante

### 5.2.1 Principe

La réactivité potentielle des granulats vis-à-vis des alcalis du béton est mesurée par des essais de gonflement d'éprouvettes de mortier soumises à des cures successives dans la vapeur d'eau, puis à l'autoclave à 150 °C dans une solution de potasse.

### 5.2.2 Appareillage

#### 5.2.2.1 Appareillage d'usage courant

Tamis normalisés 0,16 mm et 0,63 mm, avec fond et couvercle.

Broyeur permettant d'obtenir un sable 0,16 mm – 0,63 mm.

Malaxeur à mortier selon la norme NF EN 196-1.

Étuve ventilée, régulée à (150 ± 2) °C.

Balance dont la portée limite est compatible avec la masse à peser et ayant une précision relative de 0,1 %.

Comparateur au 1/1 000 mm (ou de préférence palpeur de mesures incrémental), avec embout sphérique de diamètre 5 mm, monté sur un support de mesures muni à sa base d'un embout sphérique de diamètre 5 mm centré par rapport à la pointe du palpeur ou comparateur.

Tournevis, pipette, marqueur noir indélébile résistant aux solutions alcalines à 150 °C. Armoire humide (> 95 % HR) régulée à (20 ± 2) °C, selon la norme NF EN 196-1.

Une règle d'arasage.

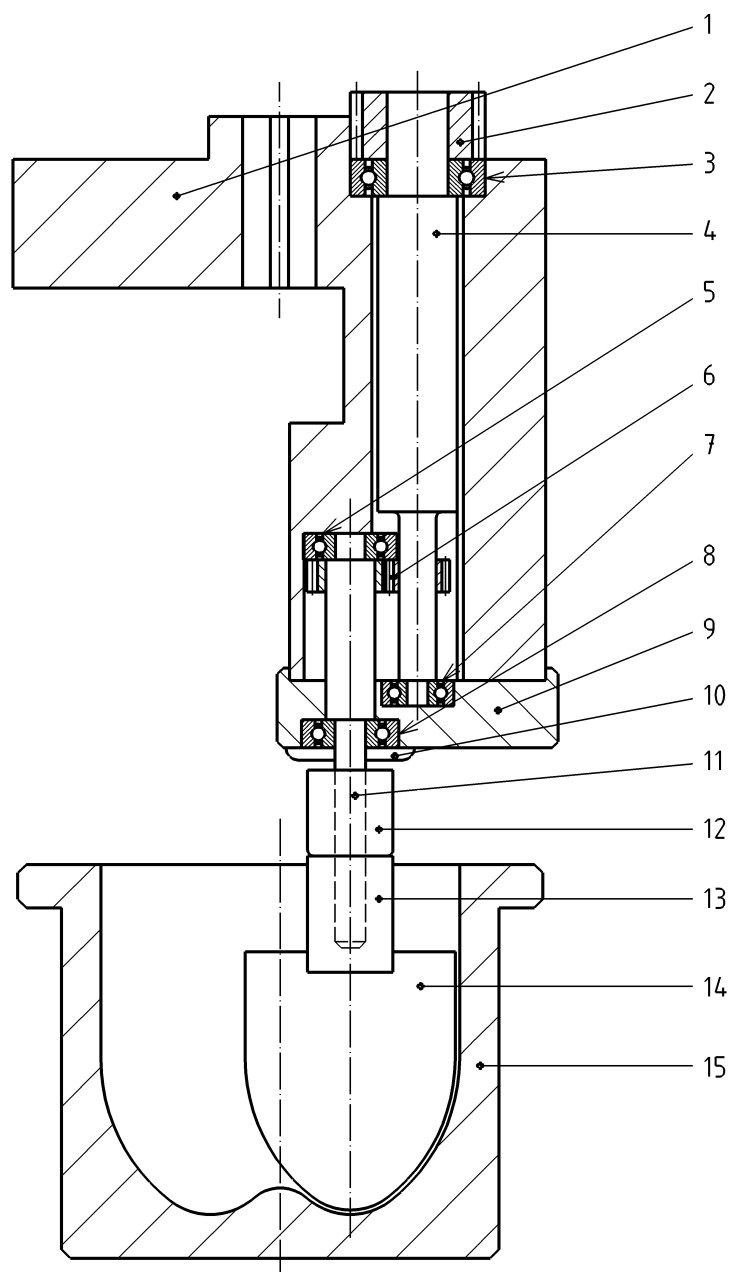
Enceinte de conservation à humidité relative égale à 100 % à (20 ± 2) °C (par exemple dessiccateur, dont l'élément desséchant a été remplacé par un fond d'eau).

Table à chocs, conforme à celle décrite dans la norme NF EN 196-1.

### 5.2.2.2 Appareillage spécifique

Récipients en acier inoxydable, de capacité de 70 ml à 150 ml, pouvant être bouchés hermétiquement et supporter une température de 150 °C.

Adaptation du malaxeur type NF EN 196-1 selon les figures 2 et 3 : bol permettant des gâchées de 150 g environ, palette à mouvement planétaire.

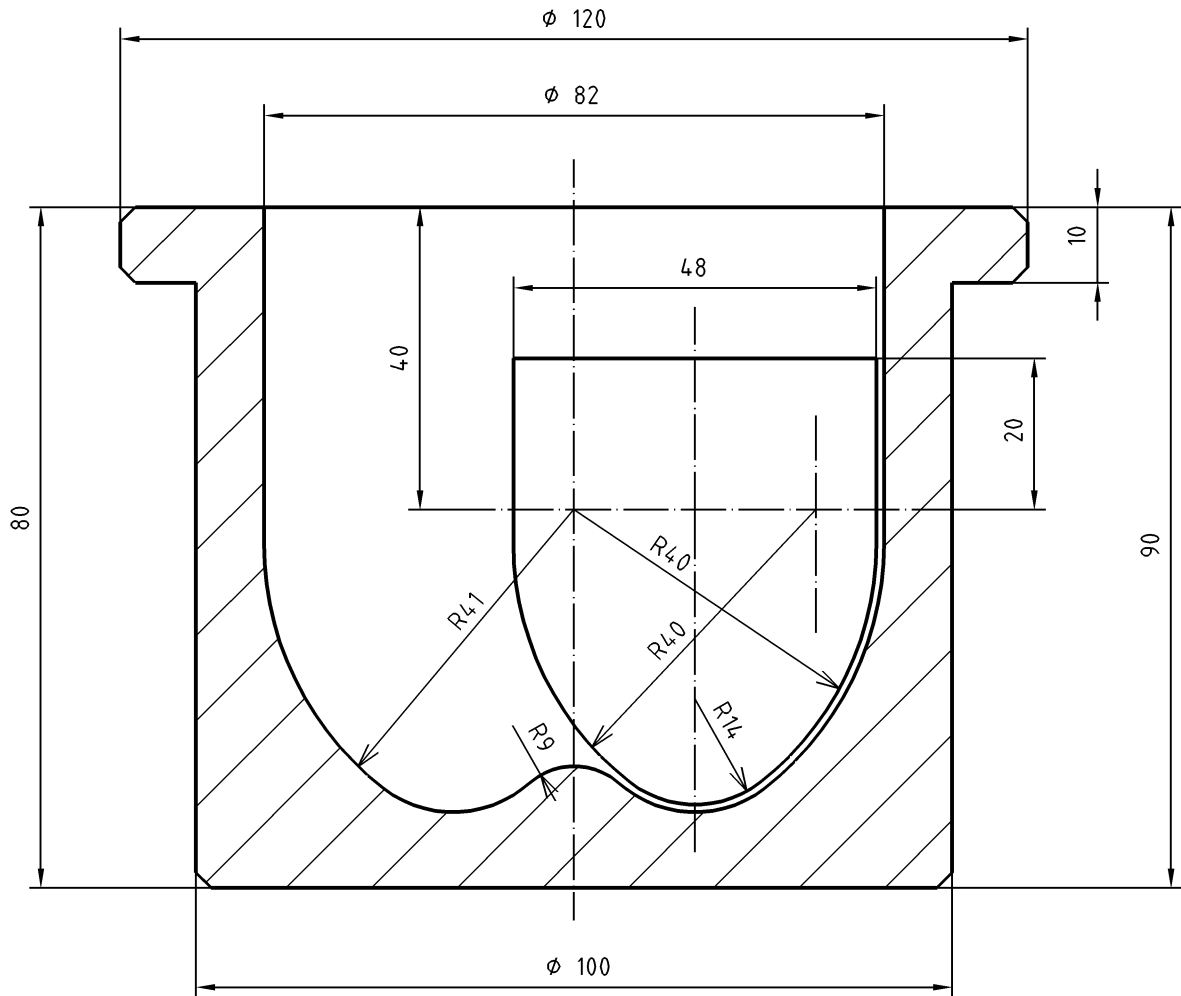


#### Légende

- |   |           |    |                   |
|---|-----------|----|-------------------|
| 1 | Corps     | 9  | Couvercle         |
| 2 | Pignon    | 10 | Chapeau           |
| 3 | Roulement | 11 | Axe               |
| 4 | Arbre     | 12 | Embout            |
| 5 | Roulement | 13 | Support agitateur |
| 6 | Pignon    | 14 | Agitateur         |
| 7 | Roulement | 15 | Pot               |
| 8 | Roulement |    |                   |

Figure 2 — Mini-malaxeur

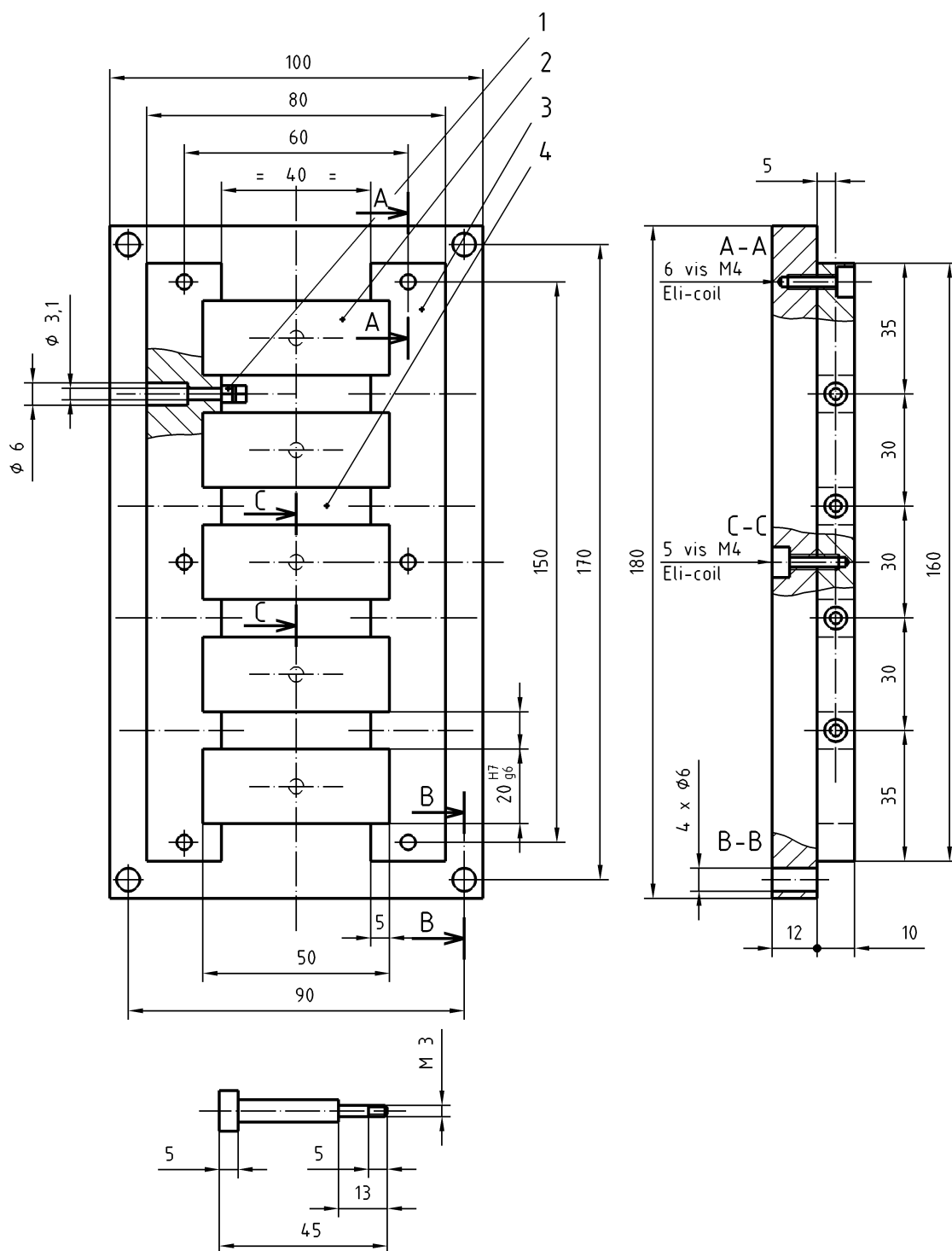
Dimensions en millimètres

**Figure 3 — Pot agitateur du mini-malaxeur**

NOTE Le malaxeur type NF EN 196-1 non modifié peut être utilisé en alternative, à condition de réaliser des gâchées de 900 g environ.

Moules démontables en matériau autolubrifiant tel que PVC (à utiliser sans huile) et ne présentant pas de sensibilité aux agents alcalins, permettant la confection de quatre éprouvettes parallélépipédiques de dimensions  $(10 \times 10 \times 40) \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ . Les logements prévus pour recevoir le mortier sont équipés d'inserts en acier inoxydable, vissés par l'extérieur et positionnés au centre des faces de section carrée. Ces pièces sont bloquées en position. Les plans des moules et inserts sont donnés sur les figures 4 et 5.

Dimensions en millimètres



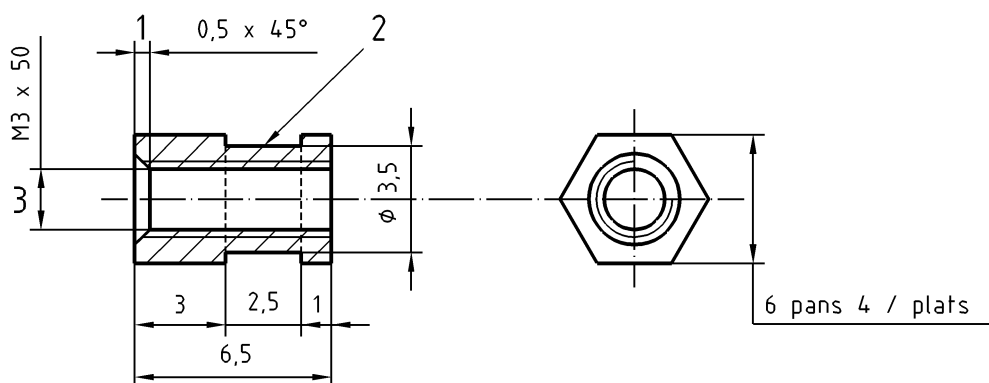
### Légende

- 1 Insert
- 2 Entretoise
- 3 Rampe
- 4 Logement pour éprouvette de mortier

Vis M 5 x 40 spécial pour inserts

**Figure 4 — Moule pour éprouvettes 10 mm × 10 mm × 40 mm**

Dimensions en millimètres



### Légende

- 1 Portée conique pour contact avec bille du comparateur
- 2 Saignée permettant le bon accrochage de la pâte de ciment
- 3 Filetage servant à la fixation de l'insert sur la paroi du moule

**Figure 5 — Insert 6 pans 4/plats en acier inoxydable**

Couvercles de moules rectangulaires de (100 × 180) mm, d'épaisseur 8 mm, en matière plastique, maintenus à une distance de 5 mm de la surface.

Porte-éprouvettes en matériau résistant aux solutions alcalines à haute température (type polymère fluoré), permettant de maintenir quatre éprouvettes en position verticale et sans contact entre elles à l'intérieur des récipients en acier inoxydable.

Ballon à col large, muni d'un système permettant de positionner les éprouvettes sans contact entre elles, ni avec les parois, verticalement au-dessus d'eau en ébullition.

Réfrigérant à boules et système permettant de recycler dans le ballon l'eau de condensation sans qu'elle ne coule sur les éprouvettes.

Une référence de mesure : pièce en invar, de longueur  $L = (40 \pm 0,05)$  mm, et aux extrémités adaptées à l'embout du palpeur et du support de mesures.

## 5.2.3 Réactifs et matériaux

### 5.2.3.1 Produits utilisés

Solution de potasse (qualité pour analyses) à 10 %.

Soude : solution à 2 mol/kg de solution, soit 80 g NaOH/kg de solution.

Soude en pastilles (qualité pour analyses).

Eau déminéralisée.

Ciment CEM 1 (NF EN 197-1) de teneur en équivalent  $\text{Na}_2\text{O}$  (% NaO + 0,658 %  $\text{K}_2\text{O}$ ) comprise entre 0,6 % et 1 % et de teneur en MgO inférieure à 2 %.

### 5.2.3.2 Matériau soumis à l'essai

L'échantillon est préparé suivant les prescriptions de la norme NF EN 932-2.

La masse nécessaire pour effectuer l'essai est de 3 kg avec le mini-malaxeur ou de 5 kg avec le malaxeur standard. Le matériau peut être un produit classé, livré par la carrière ou un échantillon de roche.

Le matériau soumis à l'essai est un sable 0,16 mm – 0,63 mm, obtenu par broyage jusqu'à refus nul à 0,63 mm.

Obtention du sable 0,16 mm – 0,63 mm.

Tamiser sous eau les éléments obtenus, conserver la classe granulaire 0,160 mm/0,630 mm. Sécher cette fraction à  $(80 \pm 5)$  °C et l'homogénéiser ensuite.

Peser trois prises d'essai de granulat sec (en grammes) :

	<b>Masse 0,160 mm/0,630 mm Malaxeur NF EN 196-1 modifié (g)</b>	<b>Masse 0,160 mm/0,630 mm Malaxeur NF EN 196-1 non modifié (g)</b>
P <sub>1</sub>	10 ± 0,05	60 ± 0,1
P <sub>2</sub>	10 ± 0,05	96 ± 0,1
P <sub>3</sub>	40 ± 0,05	240 ± 0,5

### Confection de mortier

Trois mélanges sont préparés, de manière à obtenir des mortiers de rapport ciment/granulat (C/G), respectivement égaux à 2, 5 et 10.

Les masses (en grammes) des constituants selon le rapport C/G et le type de malaxeur sont :

### Utilisation du mini-malaxeur

Mélange	1	2	3
C/G	2	5	10
Ciment (g)	80 ± 0,1	80 ± 0,1	100 ± 0,1
Solution de soude <sup>*)</sup> (g)	24 ± 0,05	24 ± 0,05	30 ± 0,05
Granulat (g)	40 ± 0,05	16 ± 0,05	10 ± 0,05
*) La quantité de soude Q NaOH à peser avec une précision de 0,05 g est calculée de façon à obtenir une concentration en Na <sub>2</sub> O équivalent final de 1,5 % dans le ciment par la formule donnée en 6.3.1.			

### Utilisation du malaxeur non modifié

Mélange	1	2	3
C/G	2	5	10
Ciment (g)	480 ± 1	480 ± 1	600 ± 1
Solution de soude <sup>*)</sup> (g)	144 ± 0,1	144 ± 0,1	180 ± 0,1
Granulat (g)	240 ± 0,5	96 ± 0,1	60 ± 0,05
*) La quantité de soude Q NaOH à peser avec une précision de 0,05 g est calculée de façon à obtenir une concentration en Na <sub>2</sub> O équivalent final de 1,5 % dans le ciment par la formule donnée en 6.3.2.			

## 5.2.4 Exécution de l'essai

### Gâchage

Introduire le ciment et le granulat pour le mélange 1 dans le bol du malaxeur et mélanger à petite vitesse durant 1 min. Les vitesses mentionnées sont identiques à celles de la norme NF EN 196-1. Ajouter la solution enrichie en soude. Malaxer pendant 1 min à petite vitesse, puis 2 min à grande vitesse. Râcler à l'aide d'une spatule souple, les parois et malaxer à nouveau 2 min à grande vitesse.

### Confection des éprouvettes

Introduire le mortier correspondant au mélange 1 dans les quatre compartiments du moule, en commençant par les extrémités et en insistant au niveau des inserts pour ne pas emprisonner de bulles d'air. Remplir les moules à mi-hauteur. Placer la rehausse et positionner l'ensemble au centre de la table à secousses, en fixant le moule avec deux serre-joints. Compacter 15 coups. Compléter le remplissage jusqu'à moitié de l'épaisseur de la rehausse. Compacter à nouveau trois fois 15 coups. Ôter la rehausse et araser suivant la norme NF P 15-433.

Procéder à la gâchée du mélange 2, puis à celle du mélange 3 et à la confection des éprouvettes.

Placer les moules recouverts de leurs couvercles en armoire humide, les y laisser ( $24 \pm \frac{1}{2}$ ) h.

### Démoulage et mesure initiale

Démonter les moules, en commençant par les vis situées au-dessous des moules, puis par les vis qui tenaient les inserts en position, puis démonter les parois latérales et séparer les éprouvettes des entretoises. Numéroté chaque éprouvette.

Vérifier que les inserts sont libres de toute poussière ou aspérité, éventuellement nettoyer. Régler le comparateur ou palpeur à zéro, en utilisant la référence de mesure, puis procéder aux mesures  $l_0$  des 12 éprouvettes.

### Cure à la vapeur

Placer les éprouvettes dans le ballon à col large au-dessus de l'eau en ébullition. Veiller à éviter les contacts mutuels, en séparant les éprouvettes de 2 mm, la vapeur d'eau doit pouvoir circuler librement autour des éprouvettes. Laisser 4 h en système clos.

Placer les éprouvettes dans l'enceinte de conservation à ( $20 \pm 2$ ) °C et à humidité relative de 100 % jusqu'à ce qu'elles atteignent 20 °C (entre 4 h et 24 h).

### Cure alcaline

Disposer les quatre éprouvettes de la même série dans les porte-éprouvettes, eux-mêmes placés dans les récipients en acier inoxydable. Recouvrir de solution KOH 10 %. Mettre à l'étuve à ( $150 \pm 2$ ) °C pendant ( $360 \pm 10$ ) min.

Sortir les éprouvettes, les rincer à l'eau déminéralisée, tamponner les six faces sur papier absorbant et placer en enceinte de conservation pendant ( $60 \pm 5$ ) min.

Vérifier la propreté des inserts.

Effectuer les mesures de longueur  $l_1$  des éprouvettes.

Garder les éprouvettes dans l'enceinte de conservation à ( $20 \pm 2$ ) °C et mesurer à nouveau le lendemain pour contrôle.

### 5.2.5 Expression des résultats

Calculer pour chaque éprouvette la déformation relative  $\varepsilon(n)$ .

$$\varepsilon(n) = \frac{l_1(n) - l_0(n)}{L + l_0(n)} \times 100$$

avec :

- $n$  numéro de l'éprouvette ;
- $L$  longueur de référence ;
- $l_0$  mesure initiale ;
- $l_1$  mesure finale (après cure alcaline).

Pour chaque série C/G = 2, 5 et 10, le résultat exprimé en pourcentage est la moyenne des  $\varepsilon(n)$  des quatre éprouvettes correspondantes. Lorsque la déformation relative moyenne est supérieure à 0,03 %, la déformation relative de chaque éprouvette ne doit pas s'écarter de  $\pm 15$  % de la moyenne.

Parmi les trois résultats à C/G = 2, 5 et 10, l'expansion la plus élevée est retenue pour évaluer la réactivité du granulat testé.

Précision de l'essai

La répétabilité  $r$ , pour des niveaux de valeurs compris entre 0,016 et 0,336 est de  $0,2 X + 0,02$ .

## 5.3 Essai cinétique chimique : variante

### 5.3.1 Principe

L'essai consiste à attaquer, dans des conditions définies, la fraction granulométrique comprise entre 0  $\mu\text{m}$  et 315  $\mu\text{m}$  d'une roche ou d'un granulat broyé, par une solution de soude normale à 80 °C puis à mesurer sur le filtrat, après refroidissement, les concentrations en silice dissoute et sodium restant, aux trois échéances de temps suivantes : 24 h, 48 h et 72 h.

Lorsque la teneur en carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) est supérieure à 15 %, procéder à une décarbonatation avant la réalisation de l'essai.

Lorsque la teneur en alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) est supérieure à 5 %, l'essai ne s'applique pas.

### 5.3.2 Appareillage

#### 5.3.2.1 Appareillage d'usage courant

- Concasseur de laboratoire, permettant d'obtenir un sable ;
- Mortier manuel en agate, ou mortier mécanique ;
- tamis normalisés à 100  $\mu\text{m}$  et 315  $\mu\text{m}$ , avec fond et couvercle ;
- balances de précision, au 1/100 g près et au 1/10 mg près ;
- étuve ventilée réglable en température de 80 °C à 110 °C ;
- fioles à vide en pyrex de 100 ml ;
- büchners porcelaine de 500 ml ;
- filtres à filtration rapide et à filtration lente ;
- béchers polyéthylène de 500 ml ;
- pipettes de 5 ml, 10 ml, 20 ml et 25 ml ;
- fioles jaugées de 100 ml, 200 ml, 250 ml, 500 ml et 1 000 ml ;
- flacons polyéthylène ;
- burettes étalonnées.





### 5.3.3 Réactifs et matériaux

Utiliser uniquement des réactifs de qualité analytique reconnue et de l'eau distillée ou de l'eau de pureté équivalente.

1) Solution de soude 1 mol/l (NaOH).

Dissoudre 40 g d'hydroxyde de sodium dans de l'eau et compléter à 1 000 ml.

2) Acide chlorhydrique concentré (HCl).

3) Réactif molybdique.

Dissoudre 18,75 g d'heptamolybdate d'ammonium  $[(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$  dans de l'eau et compléter à 500 ml.

4) Solution de fluorure de sodium (NaF).

Dissoudre 10 g de fluorure de sodium dans de l'eau et compléter à 1 l.

Conserver, de préférence, cette solution dans un flacon de polyéthylène.

5) Solution d'acide borique saturée ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ).

Dissoudre environ 50 g d'acide borique dans de l'eau et compléter à 1 000 ml.

6) Solution tampon pH 1,4 pour étalonnage du pH-mètre.

Dissoudre 7,505 g d'acide amino-acétique ( $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ) et 5,850 g de chlorure de sodium (NaCl) dans de l'eau et compléter à 1 000 ml. Amener 300 ml de cette solution à 1 000 ml avec de l'acide chlorhydrique dilué 1 + 99.

7) Solution de pH 1,6.

Diluer HCl concentré avec de l'eau distillée et amener le pH à 1,6 à l'aide d'un pH-mètre, (environ 4 ml d'HCl par litre).

8) Solution d'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 2 mol/l.

Diluer 110 ml d'acide sulfurique concentré (densité : 1,84 ; pureté : 95 % ) avec de l'eau ; amener à 1 000 ml.

9) Solution de soude (NaOH) 2 mol/l.

Dissoudre 80 g d'hydroxyde de sodium dans de l'eau et compléter à 1 000 ml.

10) Acide phosphorique concentré ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ).

11) Acide chlorhydrique (HCl) dilué 1 + 1.

Préparation des solutions étalons et des courbes d'étalonnage de la silice.

Solution de base.

Étendre à 1 l, une ampoule standard de 1 g de silicium (Si). Cette solution contient donc 2,139 3 g de dioxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ). La conserver dans un flacon de polyéthylène.

Solution étalon.

Pipeter 50 ml de la solution de base dans un ballon jaugé de 500 ml et porter au trait avec de l'eau. Cette solution ne doit pas être conservée après l'étalonnage. 1 ml de cette solution contient 0,214 mg de silice exprimée en  $\text{SiO}_2$ .

Établissement de la courbe d'étalonnage.

Dans des béchers polyéthylène de 500 ml, introduire au moyen d'une burette, les volumes de solutions d'étalonnage de silice indiqués au Tableau 1.

**Tableau 1 — Volumes des solutions pour la préparation des solutions étalons et leurs concentrations en  $\text{SiO}_2$**

Numéro d'ordre	Blanc	1	2	3	4	5	6	7	8
Solution $\text{SiO}_2$ étalon (G2 ml)	0	1	2,5	5	10	15	20	25	30
Teneurs en $\text{SiO}_2$ mg/200 ml	0	0,21	0,53	1,07	2,14	3,20	4,28	5,35	6,42

Ajouter 10 ml de la solution de NaF (5.3.3-4)) puis, après une attente de 5 min, ajouter 80 ml de la solution saturée d'acide borique (5.3.3-5)).

À l'aide de la solution de soude (5.3.3-9)) ou d'acide sulfurique (5.3.3-8)), amener le pH des solutions d'attaque à un pH voisin de 1,45. Réaliser cette opération à l'aide d'un pH-mètre étalonné avec la solution tampon pH = 1,4 (5.3.3-6)).

Introduire, au moyen d'une pipette, 10 ml de la solution de molybdate d'ammonium (5.3) dans la solution (temps 0). Ajuster le pH de la solution à 1,60 en ajoutant soit de la soude (5.3.3-9)), soit de l'acide sulfurique (5.3.3-8)).

Transvaser les solutions dans des ballons jaugés de 200 ml.

Rincer les béchers au moyen d'acide chlorhydrique dilué à pH = 1,60 (5.7) et ajuster les ballons jaugés au trait. Homogénéiser.

(20 ± 1) min après l'introduction du molybdate d'ammonium, mesurer la densité optique au photo-colorimètre (5.3.2.2), en utilisant des cuves de 1 cm de longueur optique, à la longueur d'onde de 401,6 nm. Porter sur un graphique les densités optiques mesurées, en fonction des teneurs en silice correspondante données au Tableau 1.

Préparation des solutions étalons et des courbes de Na<sub>2</sub>O.

Remarque préliminaire : le principe de la détermination de la teneur en alcalins, les réactifs, ainsi que la préparation des solutions étalons correspondent à ceux de l'article 7 de la norme NF EN 196-21 ; seule diffère la gamme de concentration des solutions étalons, qui est étendue à des valeurs supérieures, pour mieux s'adapter aux concentrations élevées des filtrats à doser.

Solution étalon d'oxyde de sodium (Na<sub>2</sub>O).

Dissoudre dans l'eau 1,886 g de chlorure de sodium (NaCl), préalablement séchés à 110 °C pendant 30 min. Amener cette solution à 500 ml.

Elle contient 2 mg d'oxyde de sodium par millilitre, exprimé en Na<sub>2</sub>O.

Établissement de la courbe d'étalonnage.

Dans des fioles jaugées de 200 ml, introduire au moyen d'une burette, les volumes de solution d'étalonnage indiqués au Tableau 2.

**Tableau 2 — Volumes des solutions pour la préparation des solutions étalons et leur concentration en Na<sub>2</sub>O**

Numéro d'ordre	Blanc	1	2	3	4	5	6	7	8
Solution étalon Na <sub>2</sub> O ml	0	2	4	6	8	10	12	14	16
Teneurs en Na <sub>2</sub> O mg/200 ml	0	4	8	12	16	20	24	28	32

Ajouter 5 ml d'acide phosphorique concentré (5.3.3-10)) et 10 ml d'acide chlorhydrique dilué 1 + 1 (5.3.3-11)). Amener à 200 ml avec de l'eau.

Pulvériser les solutions étalons dans la flamme du photomètre (4.2), en commençant par le blanc et amener l'aiguille du photomètre sur zéro.

Continuer à pulvériser successivement les autres solutions d'étalonnage dans l'ordre des concentrations croissantes. Mesurer les intensités obtenues à 589 nm.

Reporter sur un graphique, les intensités en fonction des concentrations en oxyde de sodium obtenues dans les solutions d'étalonnage.

#### 5.3.4 Exécution de l'essai

Préparer un échantillon représentatif du matériau à étudier, conformément aux normes NF EN 932-1 et NF EN 932-2.

Sécher l'échantillon entre 100 °C et 105 °C.

Concasser la totalité de l'échantillon jusqu'à obtenir une granularité inférieure à 3,15 mm.

Effectuer une réduction de l'échantillon jusqu'à (350 ± 10) g.

Séparer le passant à 100 µm.

Procéder au broyage du refus à 100 µm, au mortier manuel ou au mortier mécanique.

Pendant l'opération recueillir fréquemment les éléments inférieurs à 100  $\mu\text{m}$ . Peser chaque fois cette fraction et l'ajouter au passant à 100  $\mu\text{m}$ .

Arrêter le broyage lorsque le refus à 315  $\mu\text{m}$  est compris entre 3 % et 5 % et la quantité d'éléments inférieurs à 100  $\mu\text{m}$  produite est comprise entre 30 % et 45 %.

Mélanger les deux fractions granulométriques et homogénéiser l'échantillon. Déterminer sa courbe granulométrique entre 40  $\mu\text{m}$  et 100  $\mu\text{m}$  et la faire figurer sur le procès-verbal d'essai.

Peser trois prises d'essai de  $(25 \pm 0,01)$  g, pour chaque échéance de temps.

### 5.3.5 Expression des résultats

Les résultats des dosages en silice et oxyde de sodium, étant exprimés en concentration molaire (mmol/l), on procède au calcul du rapport molaire  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  pour les trois essais d'une échéance puis à la moyenne des trois valeurs.

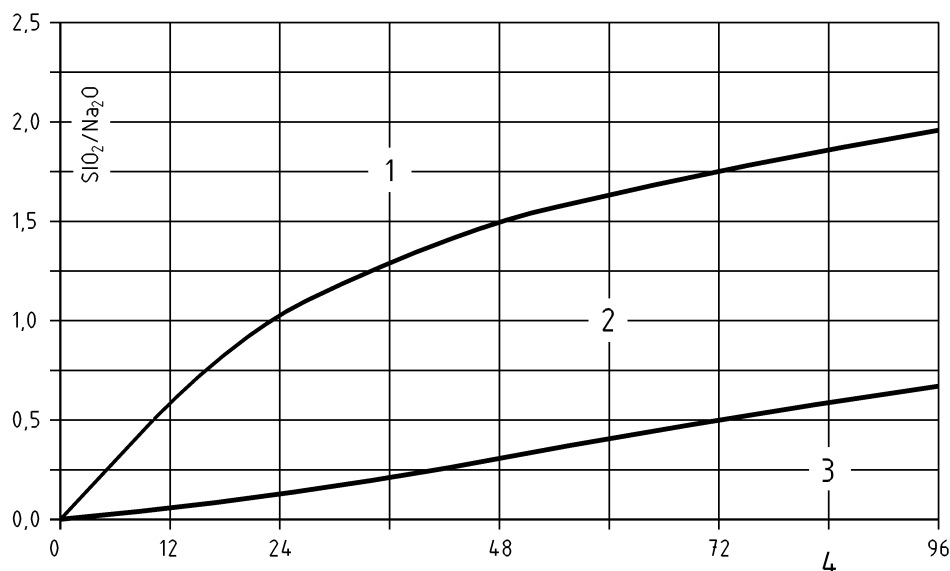
On procède de même, pour les trois échéances et on reporte ces valeurs sur un graphique Figure 7, donnant leur évolution en fonction du temps (cinétique de la réaction).

Pour l'interprétation des résultats, il faut se reporter au fascicule de documentation FD P 18-542.

Une échéance différente est requise dans deux situations :

- dans le cas d'un granulat qui manifeste une très forte dissolution de silice à 24 h, il faut effectuer un test à une échéance plus brève (8 h ou 12 h) ;
- dans le cas où l'interprétation de l'essai resterait encore incertaine au bout de 72 h (courbe à la limite de deux zones ou traversant plusieurs zones), il faut pratiquer un test à une échéance ultérieure (96 h, par exemple).

Le rapport molaire  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ , fonction du temps, est représenté par une courbe qui peut être reportée sur le graphique de la figure 7.



#### Légende

- 1 Zone PRP
- 2 Zone PR
- 3 Zone NR

Figure 7 — Graphique des résultats

## **6 Essai à long terme**

### **6.1 Principe**

Le potentiel d'expansion des granulats en milieu humide et en présence d'alcalins, est mesuré par un essai de gonflement d'éprouvettes de béton conservées à  $(38 \pm 2)$  °C et 100 % d'humidité relative.

Cet essai peut être réalisé avec tous les granulats. Il permet, avec la prise en compte de la démarche pétrographique, de les qualifier en trois classes NR, PR, PRP, en application du fascicule de documentation FD P 18-542.

Lorsque la détermination porte sur un sable, le gravillon entrant dans la composition du béton est obligatoirement un calcaire ayant une teneur en silice ( $\text{SiO}_2$ ) inférieure à 4 %.

Lorsque la détermination porte sur un gravillon, le sable entrant dans la composition du béton est un sable calcaire dont la teneur en silice est inférieure à 4 % ou tout autre sable qualifié sans ambiguïté de NR, c'est-à-dire ne donnant pas lieu à une expansion supérieure à la moitié de la valeur seuil d'un des tests cribles.

Lorsque la détermination porte sur un mélange granulaire (sable + gravillon ou mélange à béton 0/20), le mélange est utilisé tel quel.

### **6.2 Appareillage**

#### **6.2.1 Appareillage d'usage courant**

Concasseur permettant d'obtenir un 0/20 à partir d'un 0/D.

Tamis normalisés de 4 mm et 20 mm.

Malaxeur à béton à axe vertical.

Cône d'ABRAMS (NF P 18-451).

Table vibrante.

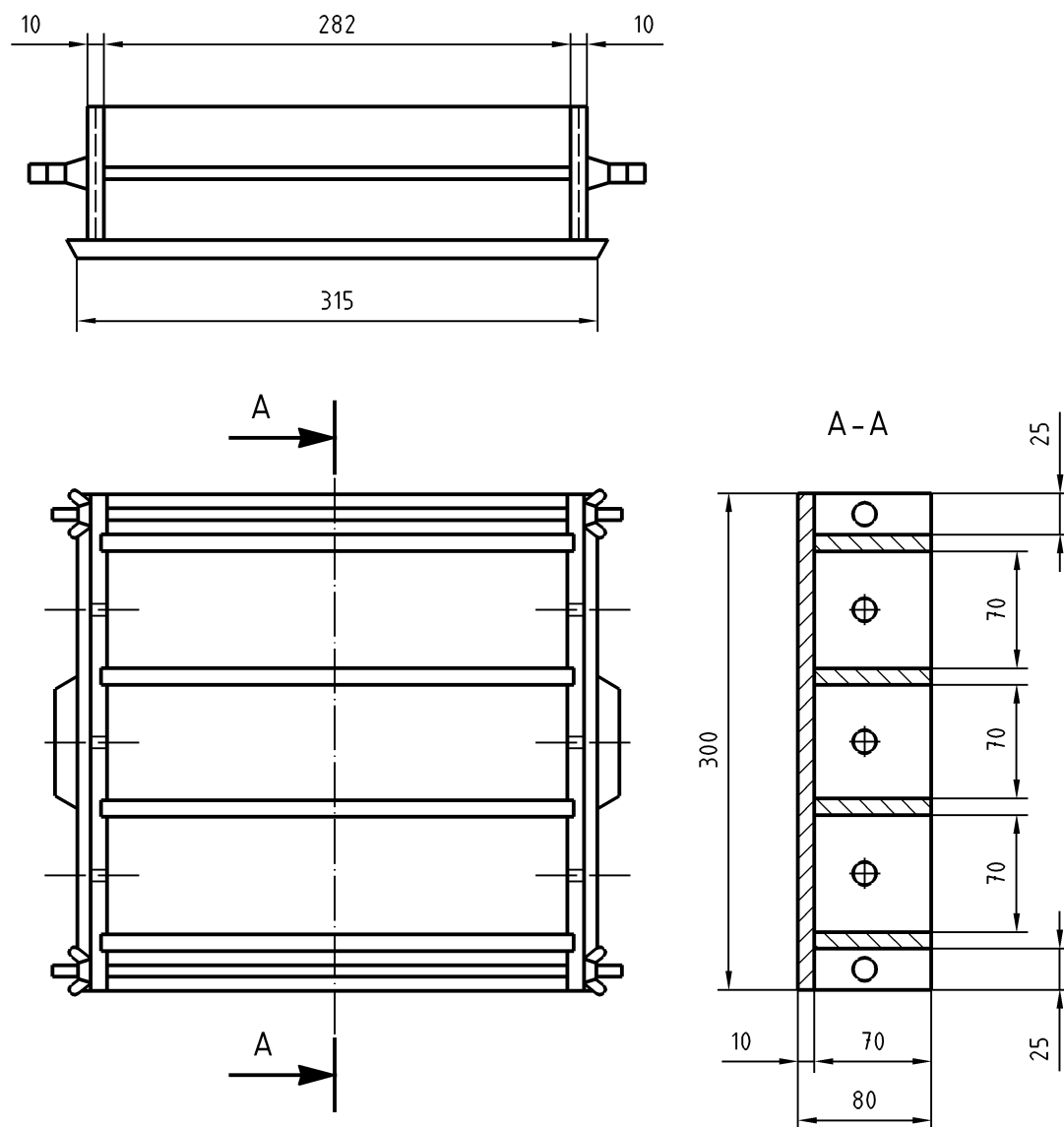
Aéromètre pour béton (NF P 18-353). NF EN 12350-7.

Balance dont la portée limite est compatible avec les masses à peser et permettant de faire toutes les pesées avec une précision relative de 0,1 %.

Chronomètre (à la seconde près).

Moules pour éprouvettes prismatiques de 70 mm × 70 mm × 282 mm permettant de fixer des plots de mesure. Ceux-ci doivent être disposés pour avoir une longueur de mesure effective de l'éprouvette de 250 mm (Figure 8). Les tolérances sur les dimensions sont de  $\pm 1$  mm.

Dimensions en millimètres



**Figure 8 — Moule pour éprouvette prismatique de 70 mm × 70 mm × 282 mm**

Plots de mesure en acier inoxydable.

Il est recommandé d'utiliser des plots hexagonaux crantés en acier inoxydable, de longueur 18 mm et de 14 mm d'entre plat.

Plaque de protection avec joint d'étanchéité (Figure 9).

Dimensions en millimètres

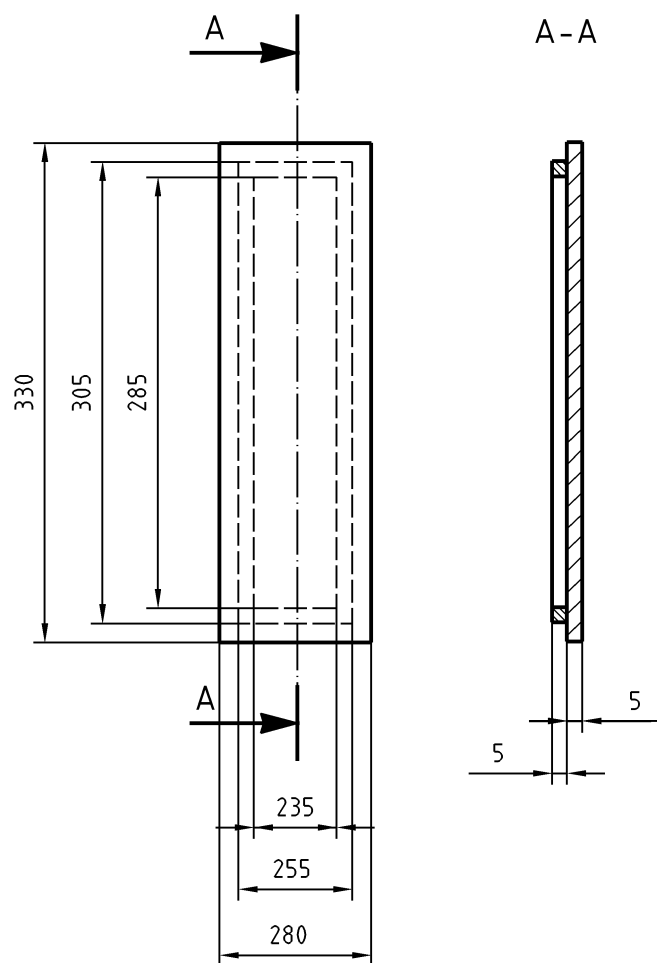


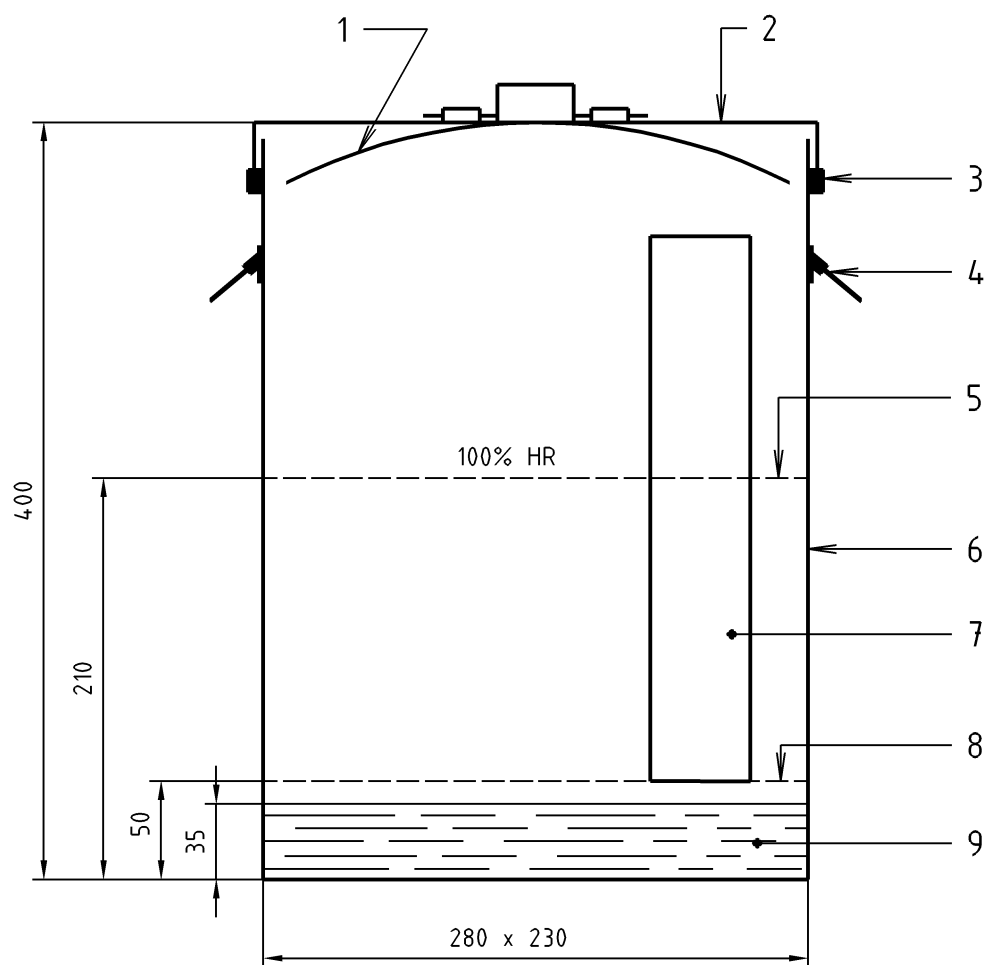
Figure 9 — Plaque de verre avec joints d'étanchéité

### 6.2.2 Appareillage spécifique

Appareil de mesure, avec comparateur, de la longueur des éprouvettes avec une précision de 0,003 mm (Figure 1) et barreau étalon en invar de  $(282 \pm 1)$  mm de longueur.

Conteneur en acier inoxydable équipé d'un joint d'étanchéité destiné à recevoir les éprouvettes de béton (Figure 10).

Dimensions en millimètres

**Légende**

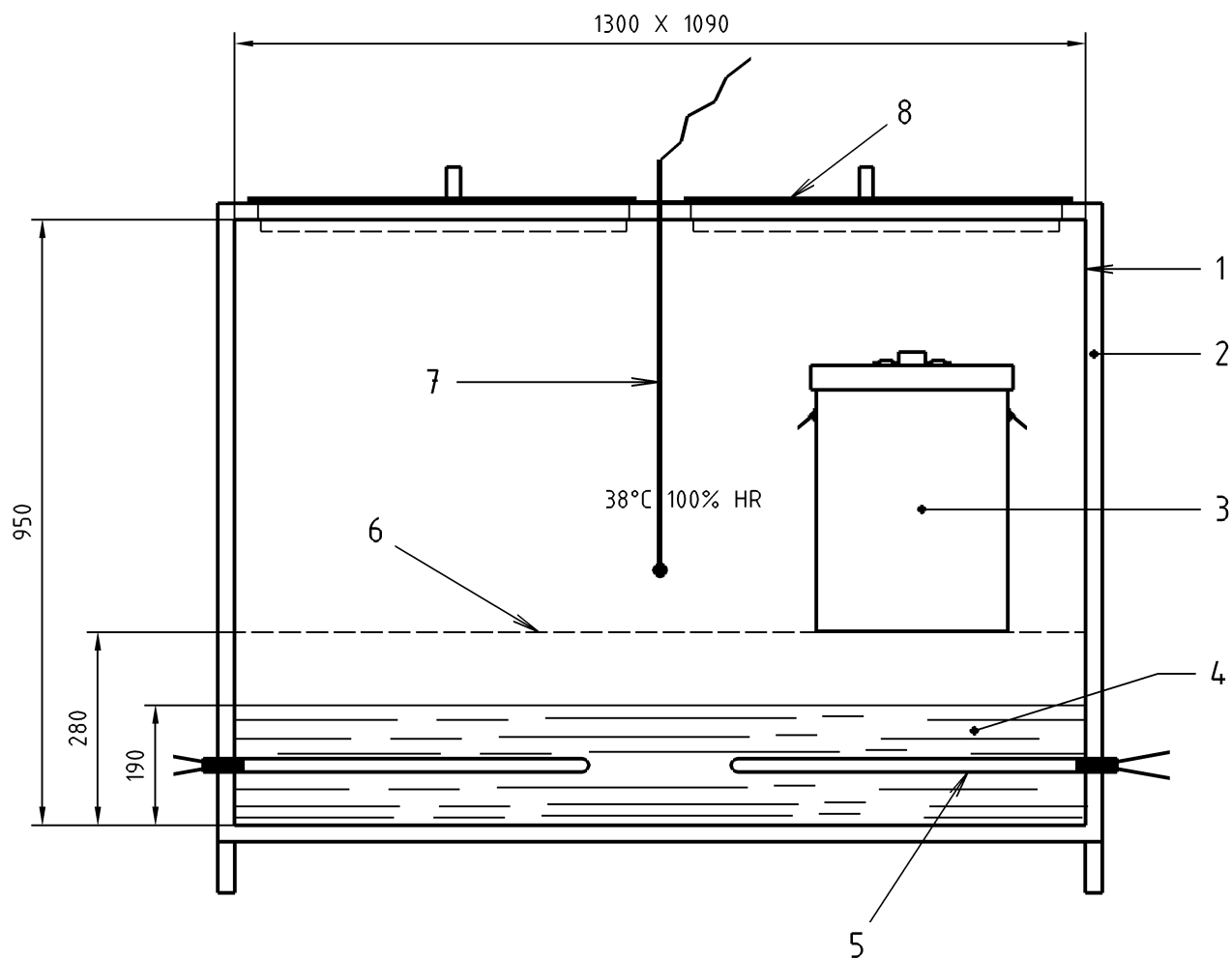
- 1 Forme qui évite les retombées de condensation
- 2 Couvercle
- 3 Joint d'étanchéité
- 4 Poignée articulée
- 5 Grille inox maille de 80, pour positionner les prismes
- 6 Tôle inox de 1,5
- 7 Prisme 70 × 70 × 282
- 8 Grille inox, maille de 10
- 9 Eau

**Figure 10 — Conteneur pour six prismes**

Réacteur métallique équipé de résistances chauffantes immergées dans l'eau, assurant à l'intérieur du conteneur la température de  $(38 \pm 2) ^\circ\text{C}$  et 100 % d'humidité relative (Figure 11).



Dimensions en millimètres

**Légende**

- 1 Tôle inox
- 2 Calorifuge
- 3 Conteneur
- 4 Eau
- 5 Thermoplongeur
- 6 Grille inox
- 7 Thermocouple de régulation
- 8 Couvercle

**Figure 11 — Réacteur pour neuf conteneurs**

## 6.3 Réactifs et matériaux

### 6.3.1 Produits utilisés

Solution de soude de concentration connue ou pastilles.

Eau déminéralisée.

Ciment Portland CEM I 42,5 N ou R ou 52,5 N ou R, conforme à la norme NF EN 197-1, dont la teneur en équivalent  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $\% \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \% \text{K}_2\text{O}$ ) est comprise entre 0,6 % et 1,0 %. Les alcalins sont dosés selon les modes opératoires de la norme NF EN 196-21 ou de toute autre méthode équivalente.

Le ciment doit avoir une teneur en  $\text{MgO}$ , mesurée selon la méthode décrite dans la norme NF EN 196-2 ou selon toute autre méthode équivalente, inférieure à 2 %. Il doit présenter une expansion inférieure à 1,0 mm, mesurée selon la norme NF EN 196-3.

### 6.3.2 Matériaux soumis à l'essai

L'échantillon est préparé suivant les prescriptions de la norme NF EN 932-2.

Le sable à qualifier est utilisé tel quel.

Le gravillon à qualifier est utilisé tel quel. Compte tenu de la taille des éprouvettes, et en application de la norme NF EN 12390-1, la fraction supérieure à 20 mm doit être éliminée sauf dans le cas des roches meubles <sup>2)</sup>. Noter la proportion de cette fraction.

Le mélange granulaire (0/D) est utilisé tel quel si  $D > 20$  mm, sinon :

- dans le cas des roches massives, la fraction  $> 20$  mm est éliminée (la proportion doit en être notée) ;
- dans le cas des roches meubles, la fraction  $> 20$  mm, si elle représente plus de 2 % en masse de l'échantillon, doit être concassée de façon ménagée, afin de limiter la proportion d'éléments  $< 4$  mm et le produit obtenu est réincorporé dans l'échantillon.

Le ciment est enrichi en alcalins par ajout de  $\text{NaOH}$  dans l'eau de gâchage jusqu'à obtenir 1,25 % de  $\text{Na}_2\text{O}$  équivalent.

## 6.4 Exécution de l'essai

Formulation et fabrication du béton d'essai.

Le dosage en ciment est fixé à 410 kg par mètre cube de béton en place.

Le calcul de la composition du béton doit tenir compte de la quantité d'air occlus ainsi que de l'humidité des échantillons de granulat utilisés.

Il est recommandé que la quantité d'air occlus ne dépasse pas 2 % ; les quantités de granulats et d'eau sont ajustées de façon à obtenir  $(1 \pm 0,030) \text{ m}^3$  de béton compacté en place.

Noter la quantité d'air si celle-ci dépasse 2 %.

La quantité d'eau déminéralisée contenant l'ajout de  $\text{NaOH}$ , est ajustée pour que le béton ait un affaissement au cône d'Abrams de  $(80 \pm 20)$  mm.

Pour qualifier un sable, le volume de sable à utiliser est de 255 l ; la quantité de gravillon est de l'ordre de 1 100 kilogrammes par mètre cube mais elle peut varier autour de cette valeur en fonction de la quantité d'eau et d'air occlus.

Pour qualifier un gravillon, le volume de gravillon à utiliser, quel que soit le d/D est de 435 l. La quantité de sable à ajouter est de l'ordre de 660 kilogrammes par mètre cube ; mais elle peut varier autour de cette valeur en fonction de la quantité d'eau et d'air occlus. La qualification de petite coupure conduit à réaliser un béton à formule discontinue.

---

2) Seule la fraction 4/20 est réincorporée à la prise d'essai si l'échantillon est un gravillon de roche meuble.

Pour qualifier un mélange granulaire 0/D (avec  $D > 20$  mm), la quantité à utiliser est de l'ordre de 1 760 kilogrammes par mètre cube mais elle peut varier autour de cette valeur en fonction de la quantité d'eau et d'air occlus.

Le gâchage du béton est effectué au malaxeur dans une salle à  $(20 \pm 2)$  °C. Introduire les constituants du béton dans le malaxeur dans l'ordre suivant : Environ la moitié des gravillons, du sable et de l'eau contenant l'ajout de NaOH.

Malaxer 30 s,

Introduire le ciment puis

Le reste des gravillons, de sable et d'eau.

Malaxer le béton pendant 3 min (rotation recommandée :  $(17 \pm 3)$  tr/min).

Tableau résumant les règles de formulation :

Constituants	Qualification d'un sable	Qualification d'un gravillon	Qualification d'un mélange granulaire
Ciment	410 kg/m <sup>3</sup>		
Sable	<b>255 I</b> du sable à qualifier	660 kg/m <sup>3</sup> de 4/20 NR à ajuster de même que l'eau pour obtenir 1 m <sup>3</sup> de béton compacté en place de consistance S2	1 760 kg/ m <sup>3</sup> de mélange 0/D, avec D ≤ 20 mm, utilisé tel quel. La proportion d'eau est ajustée pour obtenir 1 m <sup>3</sup> béton compacté de consistance S2.  Concassage ménagé du > 20 mm et réincorporation du produit dans le mélange <b>dans le cas des roches meubles</b> . Élimination du > 20 mm dans les autres cas.
Gravillon	1 100 kg/ m <sup>3</sup> de gravillon NR, à ajuster de même que l'eau pour avoir 1 m <sup>3</sup> de béton compacté en place de consistance S2	<b>435 I</b> du gravillon à qualifier.  <b>Dans le cas des roches meubles</b> , quand D > 20 mm : concassage ménagé du > 20 mm et réincorporation du 4/20 obtenu.  Élimination du > 20 mm dans les autres cas	
Air occlus	< 2 %		
NOTE S2 correspond à 5 cm à 9 cm de Slump Test.			

#### 6.4.1 Préparation des prismes de béton

Utiliser les moules décrits au paragraphe 6.2.1, à trois compartiments par moule. Chaque compartiment est préalablement huilé puis équipé des plots de mesure. La distance L entre les plots est de  $(250 \pm 3)$  mm.

La mise en place du béton, qui doit être particulièrement soignée au niveau des plots, est faite sur table vibrante après remplissage préalable du moule jusqu'à mi-hauteur.

Le temps de vibration est chronométré et ajusté suivant la consistance du béton : la vibration est arrêtée dès l'apparition d'une remontée de laitance. Le béton doit affleurer le haut du moule.

Dans la mesure du possible la surface du béton est laissée telle quelle, sans arasement ni talochage. Si ceux-ci s'avèrent indispensables ils doivent être réduits au strict minimum afin de ne pas décompacter la partie supérieure des éprouvettes et ne pas provoquer d'arrachement de granulats.

Recouvrir le moule avec la plaque comportant un joint de caoutchouc (Figure 9). Peser le moule recouvert de la plaque, parfaitement nettoyé des coulures de béton.

#### 6.4.2 Démoulage, mesure initiale et conservation des éprouvettes

Les moules sont conservés pendant  $(24 \pm 0,5)$  h à  $(20 \pm 2)$  °C et au moins à 90 % d'humidité relative dans des conditions permettant d'éviter toute perte de masse supérieure à 10 g par moule de trois éprouvettes. Si on ne dispose pas d'enceinte climatique adaptée, on enveloppera les moules munis de leur couvercle dans des linges humides et on placera l'ensemble dans des sacs étanches.

Peser le moule avant démoulage des éprouvettes et noter s'il y a eu perte de masse.

Lors du démoulage, chaque éprouvette est immédiatement identifiée, avec repérage du haut de l'éprouvette et identification des faces, ébavurée, pesée et sa longueur mesurée : soit  $L_{on}$  avec  $n$  = numéro de l'éprouvette.

Les mesures exprimées en millimètres sont effectuées avec une précision de 0,001 mm.

Les éprouvettes sont ensuite immergées pendant  $(30 \pm 5)$  min dans de l'eau à  $(20 \pm 2)$  °C. Elles sont sorties et l'eau de surface est époncée à l'aide d'une éponge humide.

On procède alors à une nouvelle mesure de masse et de longueur afin de s'assurer de l'exactitude des points «zéro». Cette opération ne doit pas excéder 5 min.

Les éprouvettes prennent du poids et ne changent pas de longueur. Un résultat contraire entraînera une vérification de la chaîne de mesure.

Les éprouvettes sont ensuite placées verticalement dans le conteneur en métal inoxydable contenant  $(35 \pm 5)$  mm d'eau.

Le conteneur est stocké dans le réacteur défini au paragraphe 6.2.2.

#### 6.4.3 Procédure de mesures de poids et de déformation longitudinale

À chaque échéance de mesure

- sortir sans l'ouvrir le conteneur dont on souhaite mesurer les éprouvettes du réacteur et laisser refroidir couvercle fermé à  $(20 \pm 2)$  °C pendant  $(24 \pm 2)$  h ;
- vérifier le zéro du comparateur avec le barreau étalon ;
- suivre la procédure suivante, celle-ci ne devant pas excéder 2 min par éprouvette mesurée afin d'en limiter la dessiccation.
  - 1) Sortir une éprouvette du conteneur en prenant soin de refermer aussitôt le couvercle ;
  - 2) Peser l'éprouvette, soit  $M_t(n)$  la masse avec  $n$  = l'identifiant de l'éprouvette et  $t$  = l'échéance en mois de la mesure ;
  - 3) Essuyer avec soin les plots en inox ;
  - 4) Mesurer l'éprouvette, en la présentant toujours de la même façon. La mesure brute est notée  $L_t(n)$  avec  $n$  = l'identifiant de l'éprouvette et  $t$  = l'échéance en mois. On s'assurera de la constance de cette mesure en faisant pivoter légèrement l'éprouvette sur elle-même ;
  - 5) Réintroduire l'éprouvette dans le conteneur en la retournant par rapport à sa position avant la mesure ;
  - 6) Refaire les étapes 1 à 5 pour toutes les éprouvettes d'un même conteneur.

Vérifier le zéro du comparateur avec le barreau étalon à chaque prisme.

Si l'écart est de plus de 3  $\mu\text{m}$  (ou 1 graduation du rétractomètre Ville de Paris, soit 2,8  $\mu\text{m}$ ) sur la longueur du barreau étalon, recommencer immédiatement les mesures des prismes du conteneur concerné.

Dans tous les cas refaire le zéro si besoin.

À la fin des mesures, vérifier le niveau d'eau dans le(s) conteneur(s) et dans le(s) réacteur(s), le(s) réajuster si nécessaire et remettre le(s) conteneur(s) dans le(s) réacteur(s).

## 6.5 Durée de l'essai et échéances des mesures

Les mesures  $L_{tn}$  sont exprimées en millimètres et effectuées à chacune des échéances ci-après avec une précision de 0,003 mm :

— Les échéances des mesures sont : 1 mois, 2 mois, 3 mois, 4 mois, 6 mois et 8 mois, préciser le nombre équivalant de jours à chaque échéance.

Une mesure supplémentaire pourra être effectuée, en cas de doute, à 10 mois ; dans ce cas la mesure est informative.

Calculer sur les trois prismes :

- $L_{t1} = L_{t1} - L_{01}$
- $L_{t2} = L_{t2} - L_{02}$
- $L_{t3} = L_{t3} - L_{03}$

## 6.6 Expression des résultats

Calculer à chaque échéance la déformation relative  $\varepsilon_t$  : en prenant pour longueur de base des éprouvettes  $L = 250$  mm.

Le résultat exprimé en pourcentage est la moyenne arithmétique des  $\varepsilon_t$  (1 à 3).

Lorsque la déformation relative moyenne est supérieure à 0,03 %, la déformation relative de chaque éprouvette ne doit pas s'écarter de  $\pm 20$  % de la moyenne, sinon refaire l'essai.

## Bibliographie

- [1] CRIAUD A. , VERNET C. , DEFOSSE C. (1990).  
The MICROBAR method, an accelerated expansion test for evaluating aggregates. Assessment of Canadian aggregates.  
Actes du Workshop on «Canadian Developments in Testing for Alkali-Aggregate Reactivity», Toronto, Canada, 19 mars 1990.
- [2] MING-SHU TANG, et al (1987).  
Applications of autoclave rapid test method in practical engineering projects in China.  
Actes de la 7<sup>e</sup> Conférence Internationale «Concrete Alkali-Aggregate Reactions» Ottawa 1986, ed. PE Grattan Bellew, pp. 294-298.
- [3] A. LE ROUX Janvier 1991  
Méthodes pétrographiques d'étude d'alcali-réaction — LCPC —  
Revue de l' AIGI
- [4] Roger RANC, Danielle SORRENTINO, Bernard CARIOU. Janvier 1990  
Réactions silico-alcalines : mise au point de méthodes fiables  
Annales ITBTP N° 480
- [5] Serge SABIO, Danielle JUNIQUE, D.SORRENTINO 1991  
Attaque alcaline des granulats : mise au point d'un test cinétique,  
Annales ITBTP N° 499 Décembre
- [6] Michel SALOMON, Jean-Louis GALLIAS, Jacques CLAUDE, J.S.- GUEDON 1992.  
Techniques de mesures. Coopération CEBTP-LCPC sur l'alcali-réaction.  
Annales ITBTP N° 512 — Mars-Avril
- [7] A LE ROUX 2002  
Prévention du risque alcali-réaction la qualification des granulats  
Journées Alkali-réaction LPEE, HOLCIM Maroc, RABAT septembre